综述 Review Articles

国际蝗虫灾害的防治策略和技术：现状与展望

郝树广，秦启联，王正军，康 乐，李鸿昌，陈永林，李典谟*
（中国科学院动物研究所，农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室，北京 100080）

摘要：简要地综述了国际上对蝗虫灾害管理策略与控制技术的发展现状，包括：监测与预警技术、化学防治、生物防治、综合管理对策以及目前的研究热点方向。比较分析了国际、国内蝗虫发生及其治理中存在问题的异同。国际上控制蝗虫灾害的理论、技术、措施、对策，对中国有重要的借鉴作用。一般来说，控制蝗虫灾害的 IPM 计划中应该包括：在策略上，强调提前预防压制优于后期灭杀处理；在规律认识上，重视基础生物学和生态学的研究，并将之模型化和标准化；在测报方法上，积极发展和改善监测预警技术水平，将地理信息系统（GIS）和遥感（RS）技术集成引入到防治决策的整体系统中，使信息能够快速、准确地传递；在防治手段上，注意新型防治药剂和施药技术的研究开发和集成，增加用药效果；在天敌利用和环境保护方面，充分认识和评估自然天敌的控制作用，正确地估计防治效益和挽回的损失，重视对环境价值的评价；同时加强多个地区间的联合与协调。

关键词：蝗虫；管理策略；防治技术
中图分类号：S433.2 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2002）04-0531-07

Management strategies and control techniques for locust and grasshopper plagues around the world：status and perspectives

HAO Shu-Guang，QIN Qi-Lian，WANG Zheng-Jun，KANG Le，LI Hong-Chang，CHEN Yong-Lin，LI Dian-Mo*
（State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents，Institute of Zoology，Chinese Academy of Sciences，Beijing 100080，China）

Abstract：This paper reviews the present status of control techniques and management strategies for locust and grasshopper plagues throughout the world. The discussion focuses on monitoring and forecasting，chemical control，biological control，IPM strategies，research direction， and so on. The similarities and differences in management strategies and control techniques for locusts and grasshopper plagues between China and overseas were compared. It was concluded that there are many similar problems and requirements for controlling locust and grasshopper plagues in China and abroad，for instance，environmental protection，economics and politics，biodiversity conservation，monitoring techniques，and biological control. Research and overseas experience shared are of tremendous benefit to the sustainable management of locust and grasshopper plagues in China. In general，there are six essential aspects in developing an IPM approach to controlling locust and grasshopper plagues：（1）emphasizing prevention strategies；（2）taking the basic research on biology and ecology seriously；（3）implementing and improving forecasting and monitoring technologies with Geographic Information System（GIS）and Remote Sensing（RS）techniques；（4）exploring novel and environmentally benign locust-control technologies；（5）evaluating novel and existing control technologies for their environmental impact and efficacy；and（6）organizing coordinated activity in all regions where locusts and grasshoppers should be controlled.

Key words：locusts；grasshoppers；management strategy；control technique

---

基金项目：中国科学院创新项目（kscx1-08，kscx2-sw-103）
第一作者简介：郝树广，1964 年 11 月生，博士，研究方向为昆虫生态学与害虫管理
＊通讯作者 Author for correspondence
收稿日期 Received：2002-02-06；接受日期 Accepted：2002-06-26

蝗灾是一种世界性的灾害，在我国的历史上与旱、涝并称三大自然灾害。全世界除南极外，各大洲均有蝗灾发生，常年发生面积达 4 680 万平方公里，有八分之一的人口常年受到蝗灾的袭扰（康乐和陈永林，1992a，1992b；陈永林，2000）。从古至今蝗灾的发生都备受公众媒体和各国政府的高度重视，对蝗灾的防治都纳入政府和决策机构的行动计划中。由于蝗虫的高密度群居性和远距离迁移危害的特点，其大面积发生不仅造成巨大的经济损失，而且往往带来深远的政治影响。因此，蝗灾是一种政治性和经济性都非常强的自然灾害（黄辉和朱恩林，2001）。

近几年来，由于全球性气候变化、水热季节性分配失调，引起旱、涝灾害频繁交替发生，以及人类活动加剧、对自然资源的不当开发利用，造成生态条件与环境的严重破坏。这些变化为蝗虫灾害的发生创造了有利条件，加重了蝗灾的发生频率和严重程度。如：1984、1998 年，澳大利亚的灾蝗（*Chortoicetes terminifera*）大发生，造成上百万公顷草场被毁（Wright，1986；Hunter and Spurgin，2000）；1986 ~ 1989 年间，沙漠蝗（*Schistocerca gregaria*）和塞内加尔小车蝗（*Oedaleus senegalensis*）在非洲连续大发生，投入防治经费达 2.75 亿美元（Shower and Potter，1991）；1986 ~ 1992 年间，红海流域的沙漠蝗大发生；1995 年，马达加斯加的飞蝗（*Locusta migratoria capito*）大发生（World Bank，1998）；1997 ~ 1999 年间，意大利蝗（*Calliptamus italicus*）在哈沙克斯坦暴发成灾，面积达 22 万公顷，损失 1500 万美元（Latchininsky，2001）；1998 ~ 2000 年间，乌兹别克斯坦亚洲飞蝗（*Locusta migratoria migratoria*）和意大利蝗大暴发并迁入我国，蝗灾发生面积较 1991 年增加了 5 倍，面积达 150 万公顷（陈永林，2000；Gapparov，2001）；我国从 1985 ~ 2001 年间东亚飞蝗（*Locusta migratoria manilensis*）在局部地区连续发生，草原蝗虫的密度也急剧上升，某些地区已经暴发成灾。2001 年，我国飞蝗发生面积约 115 万公顷，草原蝗虫发生面积达 1 500 万公顷（黄辉和朱恩林，2001）。

鉴于我国面临蝗灾发生的现状严重性，控制其危害的时间紧迫性，本文简要介绍国际上控制蝗虫灾害的策略、措施手段和研究动态，以期为制定我国的治蝗对策和技术措施有所启示。

1 蝗灾的监测预警

对于蝗虫动态的监测，过去一般是在各个蝗区设立多个测报站点、通过人工调查和趋势分析的方法进行的。这种方法在一定时空范围内能起到作用，但对于飞蝗这种分布范围广、栖息环境复杂、迁移性和突发性强的害虫，仅通过人工地面调查的手段进行监测是远远不够的。

近年来，随着地理信息系统（Geographic Information System，简称 GIS）和遥感（Remote Sensing，简称 RS）技术的飞速发展和广泛应用，美国、澳大利亚、非洲等国家开始探索应用遥感技术监测害虫包括蝗虫的动态，这些技术在蝗虫动态监测方面也发挥了越来越大的作用。

遥感技术在蝗虫监测中的应用主要通过三个方面来进行：一是应用高分辨率的卫星或雷达监测蝗虫本身；二是监测蝗虫所造成的危害；三是监测并评估蝗虫的适宜生境如植被分布、土地利用动态等，间接分析和预测蝗虫可能发生为害地区。GIS 技术的主要作用是作为遥感图象处理和蝗虫时空动态分析的软件平台。遥感和 GIS 在蝗虫动态监测上都有成功的应用事例，如 Pedgley（1973）、Hielkema（1977，1980）通过对澳大利亚昆士兰州西南部及澳大利亚东南部地区的研究表明，使用 Landsat/MSS 图象可以有效的监测出蝗虫赖以生存的绿色植被及其动态。

进入 20 世纪 90 年代，地理信息系统与遥感相结合对蝗虫进行监测成为新的发展趋势，也取得了比较大的进展。如 VOSS 等（1994）在 1991 年利用六景 Landsat/TM 图像对北非苏丹红海沿岸一带的沙漠蝗进行了研究。他们先在室内对 TM 图像进行预判，并对蝗虫生境有关的自然特征进行分析，确定沙漠蝗的有代表性的生境类型；然后，进行实地调查，并在 GPS 协助下对生境类型计算机分类中所用的训练区进行准确定位，同时，还详细收集了该地区的历史资料；在此基础上，用最大似然分类法对蝗虫生境类型进行鉴别分类。此外，还利用 GIS 技术，对沙漠蝗生境的有关参数进行数据建库、分析与制图，并将其与遥感生境分类图象进行复合，从而获得研究区的“沙漠蝗潜在繁殖区分布图”。Schell 等（1995）对美国怀俄明州发生的草地蝗虫进行了研究。他们系统地收集了该州 48 年内的历史草地蝗虫发生资料，并利用 GIS 技术将每年的蝗

虫分布图与行政区界限图相叠置，历史上蝗灾发生的具体位置则借助 GPS 予以确定。在此基础上，编制了该州“蝗虫成灾频率图”。由此，可以分析该区内蝗虫发生具体情况，并依此确定蝗虫的防治标准。此外，他们还利用 GIS 技术对地形、土壤、降水及潜在蒸发蒸腾等与蝗虫发生有关的参数进行综合分析，判断蝗灾可能暴发的生境类型及其特征，找出应优先考虑进行蝗虫防治的地点。这一研究对蝗虫潜在发生的地点和范围能做出估计，因而具有很高的实用价值。

遥感与 GIS 在蝗虫动态监测中尽管取得了一些研究进展，但这些技术的广泛应用仍存在不小的困难，如目前使用的遥感图象的空间和时间分辨率还不够高、分析软件昂贵、基础数据库很不完善等，这些在一定程度上均制约着它们的推广和应用。然而，随着技术的进一步改进和应用范围的拓宽，遥感和 GIS 技术监测蝗虫动态将不再是一个抽象的概念，而是一个大有作为的研究和应用领域。

2 化学防治

早在二十世纪 50 年代，国际上以有机氯杀虫剂为主，采取灭杀防治的指导思想来控制蝗灾。国际治蝗研究中心开始大力推广飞机超低容量喷施狄氏剂（dieldrin）（Bennett and Symmons，1972）。但由于有机氯杀虫剂的高残留特性，带来了一系列的环境和人类健康安全问题，后来开发出了杀螟松（fenitrotion）、马拉硫磷（malathion）等高效、低残留的有机磷（organophosphate）杀虫剂替代狄氏剂用于蝗虫的防治。有机磷杀虫剂的大量施用，很快就暴露出了严重缺陷。由于其残效期短，往往前期用药不能有效地控制后期蝗虫种群的暴发，因此，不得不多次用药，实行大范围、地毯式喷施，结果一方面极大地增加了防治成本，另一方面对环境造成更严重的污染。由于其毒性强、杀虫广谱，除了对人、畜、野生动物、鸟类和水生生物等构成威胁外，还大量杀伤了蝗虫的天敌，削弱了自然调控能力，使得蝗虫的暴发周期缩短、危害加重（Lomer *et al*.，2001；Peveling *et al*.，1999；Langewald *et al*.，1999；Cigliano，*et al*.，2000；Van der Valk，1999）。

针对这种状况，多个研究机构的专家学者积极探索从几个方面来弥补化学杀虫剂的缺陷。一是开发新的具选择性的化学杀虫剂，如又开发出了氨基甲酸酯类（cabamate）的西维因（bendiocarb）、拟除虫菊酯类（pyrethriod）的溴氰菊酯（deltamethrin）、锐劲特（fipronil）、昆虫生长调节剂（growth regulators）的卡死克（dimilin）和 triflumeron 等种类来替代有机磷农药（FAO，1998）。二是试验新的用药技术和措施，包括：适当降低用药浓度（药剂施用量）（Banlanca *et al*.，1997），将防治效果维持在 70%～90%左右，保留一定数量的蝗虫，为天敌觅食提供条件。在明确蝗虫防治经济阈值的前提下，以经济效益分析为指导，有限度地减少用药量，将蝗虫密度控制在经济危害允许水平之下（Cherry *et al*.，1999）；改进施药技术，大力开发和推广超低容量喷药技术及应用新的剂型，改善药液的散布和附着特性，同时施行条带施药法（barrier strips treatment），即在施药区域内留出一定宽度的空白条带，为天敌生存保留避难所，以利其发挥持续控制效应（Sayer，1959；Lockwood *et al*.，1999b）；提高监测预警技术水平和精度，在蝗虫发生的虫源地和早期用药，从而减少大面积的污染，防止群居型蝗群外迁；积极探索和开发与环境相容的生物杀虫剂，提倡生物防治技术的应用。

3 生物防治

在蝗虫灾害的生物控制技术发展过程中，有两种观点，即：外源性因子（exotic agent）（当地原来不存在的生物因子）的引入释放和内源性因子（indigenous agent）（原来当地存在，但作用不强）的增强释放。从生态学和经济学的观点看，外源性因子的引入释放是更理想的蝗害控制模式（Lomer *et al*.，2001）。

目前，已经有多种生物防治技术被应用于蝗虫的防治实践中，包括：绿僵菌（*Metarhizium* spp.）、微孢子虫（*Nosema locustae*）、蝗虫霉（*Entomophaga grilli*）、白僵菌（*Beauveria* spp.）、线虫（*Nematodes* spp.）、蝗虫痘病毒（Entomopoxvirus）、卵寄生蜂（*Scelio* spp.）等。但发展最快、应用最广泛的是绿僵菌和微孢子虫。最近在绿僵菌上分离出了高毒力的 IMI330189 株系，用于大规模生产并注册登记。*M*. *anisopliae* var. *acridum* IMI330189 和 FI984 在南非和马达加斯加大面积应用。微孢子虫首先在非洲的飞蝗体内分离到，目前在美国、加拿大、澳大利亚和中国广泛应用，发挥了一定的作用（Lomer *et al*.，2001；Geottel *et al*.，1997；Johnson，1997；Lockwood *et al*.，1999a；Lomer *et al*.，1999；Lange *et al*.，

2000；严毓华，1998）。

虽然这些生防措施的应用有效地降低了化学药剂对环境的负面影响，但其本身也存在下列一些难以克服的缺点：

（1）由于生物制剂施用后，要经过定居（colonization）、归化（naturalization）、扩散（spread）、循环侵染（cycling）、流行（epidemic）的一个阶段过程，到其发挥作用有较长时间的滞后；加之蝗虫本身的高繁殖速率和迁移特性，常使蝗虫逃脱生物因子的控制而暴发成灾（Geottel *et al*.，1997）；

（2）蝗虫都是当地土生种，外源性生物因子的引入，必然在相互作用关系上发生不协调性；同时在生物因子的人工繁殖、生产过程中，都要依赖于一定的载体进行。而蝗虫的种类又复杂多样，经常相伴发生，使得生防因子只对个别种类有效，并不能从整体上降低蝗虫种群的密度（Lockwood，1993）；

（3）在目前的生物制剂生产加工过程中，由于技术的原因，成本昂贵，使应用生物制剂防治蝗虫的费用居高不下；

（4）生防因子的防治效果并不是当时的杀灭，在很大程度上依赖于一段时间后的流行和循环侵染，而目前所开发出的生物制剂在抗紫外线能力、抗高温强度、对降雨和环境湿度的要求等方面都不尽如人意，因此，在环境条件较差的地区很难自然流行传播，使其控制效果大打折扣（Moore *et al*.，1996）。

这些不利因素极大地限制了生物防治技术的发展和应用，从而使一些人对经典的生物防治措施的前途产生怀疑，过低地评估其防治效果，把重点放在化学防治上，通过开发高效、低毒、低残留、有选择性的化学农药来填补空白。尽管如此，大量的田间试验还是显示出在长期压制种群数量和环境保护方面，生防制剂比化学农药有更大优越性（Lomer，2001）。

目前，各国科学家正致力于改善生物制剂的不良特性，如：筛选对目标蝗虫更有效、更广谱的菌株；改进施药方法和剂型；深入研究蝗虫-病源生物间的热量生态学关系（Lactin，1998；Blanford *et al*.，1999）；在施药时间上，挑选阴暗天气加速其流行；改进生产工艺，扩大规模，降低成本。

对病源微生物的开发研究已成为热点学科，主要进行的工作有：菌株筛选，大范围的菌株分离、鉴定和筛选，目前，分离出的绿僵菌有效株系达300多份；流行学评价和生物测定，分析其最佳施用剂量以及在自然中的流行条件和规律；菌株培养、工厂化生产和储藏技术，发明了水质发酵和固体发酵的技术流程；新剂型和释放技术的开发，增强其可操作性；田间试验、环境影响评估、防治效果评价，与化学杀虫剂对比，在环境安全的基础上才允许登记注册并商品化；技术推广与政府补偿，通过技术推广使研究成果被公众接受，实行政府补贴措施增加生产商的利润，以降低售价（Lomer，2001）。这些措施都积极地推动了微生物杀虫剂的开发应用。

4 综合防治的思路——防治策略的转变

虽然化学防治和生物防治技术在蝗虫灾害的治理中发挥着巨大的作用，但由于其自身的缺陷，在应用中都存在不理想的境况。随着公众经济效益和环境保护意识的提高，对蝗虫灾害的防治策略正从以高投入和环境污染为代价，以快速灭杀和应急为主的观点（emergency control strategy），向减少投入、保护环境，以预防、压制和长期控制为主的观点（preventive control strategy）转变。虽然某些试验表现出直接灭杀蝗虫聚集群的投入—收益比值最高，但预防压制种群发展优于后期应急灭杀的看法已成为共识并被广泛接受。1995年国际蝗灾会议上正式提出这样一种思想，特别强调以生防技术为主，多种措施合理配套集成（Lomer *et al*.，1999；Lomer，2001；Krall，1997）。

许多国家的政府计划和科研项目都是沿着这样一条主线在推进。如：澳大利亚的蝗灾委员会（APLC）、加拿大的农业与食品研究署（AAFCRB）、南非的植物保护研究所（PPRI）、美国的农业研究服务局（AARS）和西班牙的农业部（MAS）的地方性植保部门等都在发展并推行各自的一套与环境相容、经济有效、预防爆发的综合治理策略（Lomer，2001）。

由于多种蝗虫具有跨地区、跨国界迁移的特征，多个国家还协作成立了国际性的防治协调机构，如非洲南部防治红蝗（*Nomadacris septemfasciata*）的国际组织。多国政府防治沙漠蝗和飞蝗的组织由联合国粮农组织的跨国界有害生物应急与预防系统计划所替代（EMPRES：Emergency Prevention System for Trans-boundary Pests）。这个计划是红海周

边国家沙漠蝗频繁发生区域中统一协调行动的大型国际性项目，包括了安哥拉、利比亚、马里、摩洛哥、毛里塔尼亚、尼日耳、塞内加尔、乍得、突尼斯、喀麦隆和赞比亚等非洲国家。该项目强调数据收集的持久性，将 GIS 的最新成果、蝗虫种群动态模型、生物防治技术和环境影响评价等综合到了一个预防控制的系统框架内（Lecoq，2001）。针对意大利蝗的跨国界迁移危害问题，2001 年 8 月，哈萨克斯坦、克尔克兹斯坦、俄罗斯、塔吉克斯坦和乌兹别克斯坦等中亚五国的 60 多位专家举行会议，讨论在中亚地区建立蝗灾委员会的可能性，以增强防治的协调性。会议对哈萨克斯坦实现蝗灾中长期治理的建议是将防治策略从单纯依靠化学药剂处理转到预防为主的种群系统管理上来（Lacthininsky，2001）。

5 国际上蝗灾治理中面临的问题

5.1 政治和经济问题

蝗灾防治中面临的政治和经济问题与蝗虫的危害特性、防治措施、经济效益等密切相关（Lomer，2001）：

（1）由于蝗虫的群居性迁飞和多食性，使得蝗灾程度难于精确预测，不但其迁飞的方向和规模难以确定，在经济损失上也难以评估；

（2）蝗虫灾害对以种植业为主的农民的经济打击是致命的，即使是较轻的损害都会造成以农业生产为主体的经济结构体制的混乱，带来严重的政治问题，所以不能简单地利用市场价值上的投入—效益比来评估；

（3）一般意义上的投入—效益比分析方法依赖于防治后增加的经济收益，这一点对具迁移性的蝗虫来说，难于具体操作，往往是一个国家出力防治，而另一个国家受益；

（4）多数防治经费来源于政府拨款或个人的一次性投入，这种经费是针对已经成灾的地区进行应急处理，缺乏长期的以预防为目标的投资渠道，有时国家之间为争取更多的国际援助，而谎报灾情；

（5）政府决策部门出于公众压力和政治影响上的考虑，不顾经济效益和环境的承受力，盲目防治，极大地造成资源浪费和环境大面积深度污染；

（6）在有些地区，即使受灾程度严重，必须进行防治，但当地的环境和经济因素有时会限制化学杀虫剂的施用，而不得不寻找可替代的措施。

5.2 技术问题

在综合治理的具体落实过程中，受到多方面技术上的限制：

（1）亟待改进监测预警技术手段提高准确性，为适宜的生物和化学杀虫剂的应用提供快速可靠的信息；尽管遥感技术已经非常先进，但民用遥感设备不能有效地探测到水旱状况和与之相关的蝗虫发生动态，不能为地面调查人员提供支持，所以，对 GIS 和 GPS 以及 RS 的应用尚待进一步改善和提高，以适应蝗灾治理上的需求；

（2）亟待开发研制更多的高效、低毒、对环境安全、选择性强、可替代施用的新型化学杀虫剂；由于生物制剂目前的生产规模和杀虫特性在近期内还不能充分地满足防治的需求，对化学杀虫剂的依赖将会持续相当长时间；在未来的 5～10 年内，用生物制剂替代化学杀虫剂用量的 30%，也是一个严峻的挑战。

面对这些问题，国际社会正在想方设法寻求合理的解决途径。

6 对我国蝗灾控制的启示

综观国际上控制蝗虫灾害的技术措施和管理理论的发展过程，其现阶段的着眼点放在了以下几个方面：

（1）防治策略上，特别强调提前预防压制优于后期灭杀处理，认为预防措施中投入到生物制剂、监测预警方面的资金远远小于救灾治理的消耗，因而在经费投入时增强连续性和持久性，提高预控能力和长期压低种群密度的效果，减少应急性；

（2）重视基础生物学和生态学的研究，并将之模型化和标准化，明确种群动态规律，与其他方面的研究接轨，达到信息的共享，掌握规律性；

（3）积极发展和改善监测预警技术水平，将 3 S 技术集成引入到防治决策的整体系统中，使信息能够快速、准确地传递，提高准确性；

（4）新型防治药剂和施药技术的研究开发和集成，增加用药效果，提高实用性；

（5）充分认识和评估自然天敌的控制作用，正确地估计防治效益和挽回的损失，重视对环境价值的评价，切实将经济阈值作为决策部门进行防治决策的标准和依据，来指导防治计划的执行，减少盲目性；

（6）多个国家和地区间的联合与协调，成立统

一的国际性协调机构，加强协调性。

考察我国对蝗虫灾害的研究和防治历史，经老一辈科学家的努力，提出了"改治并举，根除蝗害"的治蝗指导方针以及"预防为主，综合防治"的植保方针，保证了我国在二十世纪七、八十年代的二十年间基本没有发生大的蝗害。近年来，由于全球气候变化、社会改革、人类活动加剧等因素的作用，导致当前蝗虫的发生出现了新的特点（康乐和陈永林，1992a，1992b；陈永林，2000）。目前，我国面临的蝗灾形势十分严峻，与国际上的动态有惊人的相似之处。国际上表现出的、引人关注并着手解决的问题，在我国都能看到。因此，国际上的经验教训、防治策略、技术手段、研究突破的方向对我国应该有重要的借鉴作用。

总体来说我国的基础研究和应用技术与国际水平有很大的差距。表现在：

（1）在防治策略上，由于调查和改造蝗区的难度较大，一定程度地忽略了过去所提倡的"预防为主"、"改治并举"的方针；在经费上，忽视了对预控能力的长期持续支持力度，而是将大量的资金用于应急和救灾；

（2）在基础研究上，支持强度不够，忽视对系统规律性的掌握及其标准化；最近二十多年来，国家没有专门设立有关蝗虫的研究项目予以资助，使得对国内蝗虫发生动态和规律难以全面系统地掌握；

（3）在监测预警技术水平上，GIS、GPS、RS技术和信息网络建设等基本没有引入到蝗灾防治实践中，与国际发展状况不可同日而语；

（4）在新型药剂的开发和施药技术的集成方面，缺乏创新和可操作性，很难满足防治工作的需求；

（5）对自然天敌的评价和环境价值的评估缺乏系统的指标体系，忽视经济阈值的杠杆作用，因而使防治决策和措施缺乏针对性，盲目进行；

（6）不同省地区和蝗虫发生地之间缺乏统一、联防联治的协调性，增大了蝗虫迁移危害的风险，为再暴发留下隐患；有些地区为局部利益，争取更多的国家治蝗经费，不惜虚报夸大受害程度和面积，使国家有限的资源不能统一地合理分配。

参 考 文 献 (References)

Banlanca G, de. Visscher M N, 1997. Effects of very low doses of Fipronil on grasshoppers and non-target insects following field trials for grasshopper control. *Crop Prot*. 16: 553–564.

Bennett L V, Symmons P M, 1972. A review of estimates of the effectiveness of certain control techniques and insecticides against the desert locust. Anti Locust Bull. 50. London: Cent. Overseas Pest Control. 1–15.

Blanford S, Thomas M B, 1999. Host thermal biology: the key to understanding host-pathogen interactions and microbial pest control. Journal of *Agricultural and Forest Entomology*, 1: 195–202.

Chen Y L, 2000. The control and ecological management of locusts and grasshoppers recurrence. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 5: 341–345. [陈永林，2000. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理. 中国科学院院刊，5: 341–345]

Cherry A J, Jenkins N E, Heviefo G, Bateman R P, Lomerc, 1999. Operational and economic analysis of a West African pilot-scale production plant for aerial conidia of *Metarhizium* spp. For use as a Mycoinsecticide against locusts and grasshoppers. *Biocontrol Science and Technology*, 9: 36–51.

Cigliane M M, De Wysiecki M L, Lange C C, 2000. Grasshopper species diversity in the pampas grassland of Argentina. *Diversity and Distribution*, 6: 81–91.

Food and Agriculture Organization, 1998. Evaluation of field trial data on the efficacy and selectivity of insecticides on locusts and grasshoppers. Reported by the FAO Locust Pesticide Referee Group. *Locust Pesticide Referee Group Meet*. 7th. Rome, Italy. 1–24.

Gapparov F, 2001. Locust and grasshopper outbreaks become increasingly serious in Uzbekistan. *Adavances in Applied Acridology*–2001. 17.

Geottel M S, Johnson D L eds., 1997. Microbial Control of Grasshoppers and Locusts. *Mem. Entomol. Soc. Can*. 1–400.

Hielkema J U, 1977. Application of Land sat data in desert locust survey and control. *AGP/LCC/77/11*. FAO, Rome, Italy.

Hielkema J U, 1980. Remote sensing techniques and methodologies for monitoring ecological conditions for desert locust population development. FAO/USAID Final Report. FAO, Rome, Italy.

Huang H, Zhu E L, 2001. Population dynamic and control of locusts and grasshoppers in China. *China Nature*, (5): 29–30. [黄辉，朱恩林，2001. 我国蝗虫发生防治动态. 大自然，5: 29–30]

Hunter D, Surgin P, 2000. Fipronil and fenitrothion for locust control in Australia: less is more. *Advances in Applied Acridology*–2001. 14.

Jonson D L, 1997. Nosematidae and other Protozoa as agents for control of grasshoppers and locusts: current status and prospects. *Mem. Entomol. Soc. Can.*, 171: 375–389.

Kang L, Chen Y L, 1992. An approach on the strategies of locusts and grasshoppers disasters reduction. *Disasters Reduction in China*, 2 (1): 50–53. [康乐，陈永林，1992. 关于蝗虫灾害减灾对策的探讨. 中国减灾，2 (1): 50–53]

Kang L, Chen Y L, 1992. An overview of locust catastrophe, with special reference to its research contents and analysis of the plague trends. Transactions of the Ecological Society of Chinese Youths, Vol. 2. 56–64. [康乐，陈永林，1992. 试论蝗虫灾害学. 青年生态学者论丛（二）. 56–64]

Krall S, Peveling R, Ba-Diallo D eds., 1997. New Strategies in Locust Control. Basel: Birkhauser. 522.

Lactin D L，Johnson D L，1998. Environmental，physical，and behavioural determinants of body temperature in grasshopper nymphs（Orthoptera：Acrididae）. *Can. Entomol.*，130：551–577.

Lange C E，Súnchoz，Wittenstein E，2000. Effect of the pathogen *Nosema locustae*（Protozoa：Microspora）on mortality and development of nymphs of the South American locust，*Schistocera cancella*（Orthoptera：Acrididae）. *Journal of Orthoptera Research*，9：77–80.

Langewald J，Ouambama Z，Mamadou A，Peveling R，Stolz I，1999. Comparison of an organophosphate insecticide with a Mycoinsecticide for the control of *Oedaleus senegalensis*（Orthoptera：Acrididae）and other Sahelian grasshoppers at an operational scale. *Biocontrol Science and Technology*，9：199–214.

Latchininsky A，2001. Problems and progress emerge from the acridid outbreak in Kazakhstan. *Adavances in Applied Acridology* –2001. 15–16.

Lecoq M，2001. FAO launches EMPRES program for desert locust control in northern and western Africa. *Advances in Applied Acridology* – 2001. 14.

Lockwood J A，1993. Environmental issues involved in biological control of grassland grasshoppers（Orthoptera：Acrididae）with exotic agent. *Environmental Entomology*，22：503–518.

Lockwood J A，Bomer C R，Ewen A B，1999a. The history of biological control with *Nosema locustae*：lessons for locust management. *Insect Science and Its Application*，19：1–17.

Lockwood J A，Schell S P，Forster R N，Reuter C，Rachadi T，1999b. Reduced agent-area treatments（RAATs）for management of rangeland grasshoppers：efficacy and economics under operational conditions. *International Journal of Pest Management*，46：29–42.

Lomer C J，Bateman R P，De Groote H，Dent D，Kooyman C，Langewald J，Peveling R，Thomas M，1999. Development of strategies for the incorporation of microbial pesticides into the integrated management of locusts and grasshoppers. *Journal of Agricultural and Forest Entomology*，1：71–88.

Lomer C J，Bateman R P，Jonnson D L，Langewald J，Thomas M，2001. Biological control of Locusts and Grasshoppers. *Ann. Rev. Entomol.*，46：667–702.

Moore D，Douro-Kpindou O K，Jenkins N E，Lomer C J，1996. Effects of moisture content and temperature on storage of *Metarhizium flavorviride* conidia. *Bio-control Science and Technology*，6：51–65.

Pedgley D E，1973. Testing feasibility of detecting locust breeding sites by satellite. Final Report to NASA on ERTS-1，Experiment. COPR. London.

Peveling R，Attignon S，Langewald J，Ouambama Z，1999. An assessment of the impact of biological and chemical grasshopper control agents on ground arthropods in Niger，based on presence/absence sampling. *Crop Protection*，18：323–339.

Schell S P，Lockwood J A，1995. Spatial analysis optimizes grasshopper management. *GIS World*，8（11）：68–73.

Showler A T，1995. Locust（Orthoptera：Acrididae）outbreaks in Africa and Asia，1992–1994：on the overview. *Am. Entomol.*，41：179–185.

Showler A T，2002. A summary of control strategies for desert locust（*Schistocera gregaria*（Forskål））. *Agri. Ecol. Environ.*，90（1）：97–103.

Showler A T，Potter C S，1991. Synopsis of the 1986–1989 desert locust（Orthoptera：Acrididae）plague and the concept of strategic control. *Am. Entomol.*，37：106–110.

Van der Valk H，Niassy A，Beye A B，1999. Does grasshopper control create grasshopper problem? Monitoring side-effects of fenitrothion applications in the western Sahel. *Crop Protection*，18：139–149.

Voss F，Dreiser U，1994. Mapping of desert locust and other migratory pests habitats using remote sensing techniques. In：Krall S，Wilps H eds. New Trends in Locust Control. Eschborn. 23–40.

World Bank，1998. Report on the meeting of the World Bank Panel to evaluate the migratory locust situation in Madagasgar. 18–22 May，1998. 1–33.

Wright D E，1986. Economic assessment of actual and potential damage to crops caused by the 1984 locust plague in south-eastern Australia. *Journal of Environment Management*，23：293–308.

Yan Y H，1998. Broadening the scope of biological control by alternatives towards the sustainable pest management. *Acta Ent. Sin.*，41（Suppl.）：1–4.［严毓华，1998. 试论拓宽生物防治范围，发展虫害可持续治理。昆虫学报 41（增刊）：1–4］